

A2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平11-509368

(43) 公表日 平成11年(1999) 8月17日

(51) Int.Cl.⁸ 識別記号

H 0 1 L 41/12

B 2 5 J 7/00

19/00

H 0 1 L 41/20

F I

H 0 1 L 41/12

B 2 5 J 7/00

19/00

H 0 1 L 41/20

A

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願平9-505535
 (86) (22) 出願日 平成8年(1996) 7月11日
 (85) 翻訳文提出日 平成10年(1998) 1月9日
 (86) 国際出願番号 PCT/FI96/00410
 (87) 国際公開番号 WO97/03472
 (87) 国際公開日 平成9年(1997) 1月30日
 (31) 優先権主張番号 953394
 (32) 優先日 1995年7月11日
 (33) 優先権主張国 フィンランド (F I)

(71) 出願人 ウラコ, カリ, マーティ
 フィンランド フィン-02270 エスポー,
 フィラジャティ 3シイ
 (72) 発明者 ウラコ, カリ, マーティ
 フィンランド フィン-02270 エスポー,
 フィラジャティ 3シイ
 (74) 代理人 弁理士 藤野 清也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 物質の双晶構造の配向制御による運動及び力発生方法及びその使用

(57) 【要約】

本発明は、双晶構造を有する物質において形状変化、運動及び／又は力を得るための方法に関する。この方法によれば、十分高い磁場を物質にかけると、その双晶構造が再配向し、運動／力を発生させる。磁性結晶異方性エネルギーが一定の歪みを生じる双晶構造の再配向に要するエネルギーより大きいか又は比較可能な程度の大きさであれば、上記の操作が可能である。

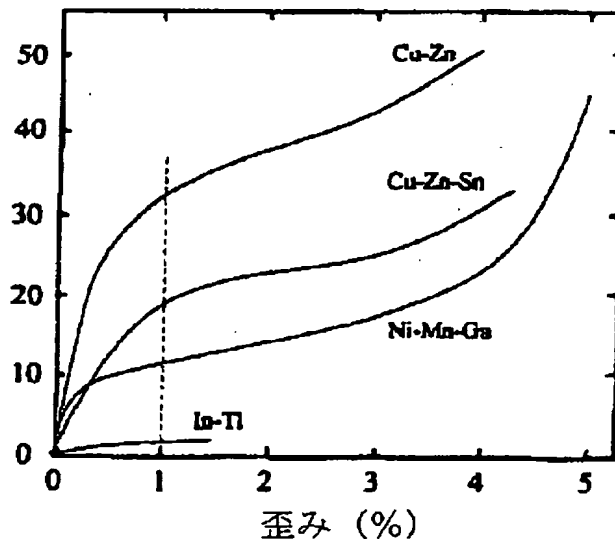


図 2

【特許請求の範囲】

1. 双晶構造を有する物質にその物質の双晶構造の再配向に適した方向及び大きさの磁場を作用させ、その物質の形状変化及び運動及び／又は力を発生させる双晶構造を有する物質の双晶構造の再配向を制御する方法。
2. 前記磁場を前記物質上で所望の双晶配向の磁化容易方向に作用させる請求項1に記載の方法。
3. 前記磁場を前記物質上で双晶構造の再配向によりその物質の所望の形状変化又は運動を発生させる方向に作用させる請求項1に記載の方法。
4. 前記磁場を前記物質上で2つの変態相の磁化容易方向と異なる方向に作用させて、その物質に曲げ又はねじれを起こさせる請求項1に記載の方法。
5. 前記磁場を前記物質上で磁化方向及び／又は大きさを時間の関数として変化させながら作用させる請求項1に記載の方法。
6. 前記物質の磁性結晶的異方性エネルギーが所望の形状変化を発生するために必要な双晶構造の再配向のエネルギーとその物質の動作に必要なエネルギーとを加算した値より大きいとか又はそれに匹敵する大きさである請求項1に記載の方法。
7. 前記物質に作用させる磁場エネルギーが一定の形状変化を発生するために必要な双晶構造の再配向のエネルギーとその物質の動作に必要なエネルギーとを加算した値より大きいとか又はそれと匹敵する大きさである請求項1に記載の方法。
8. 前記物質が強磁性体である請求項1に記載の方法。
9. 前記物質がマルテンサイトである請求項1に記載の方法。
10. 本方法によりアクチュエーターの形状変化、運動及び／または力が作用するアクチュエーターを使用する前記請求項の何れか1つに記載の方法の使用。
11. 遠隔的に制御され、その動力が遠隔的に設けられたアクチュエーターを使用する請求項1～9の何れか1つに記載の方法の使用。
12. ミクロ及びナノテクノロジーにおいて、双晶の薄膜類、線類、又は粒子類からなるアクチュエーターを使用する前記請求項の何れか1つに記載の方法の

使用。

13. アクチュエーターが特に流体等の物質を移送するためのポンプ類、噴射機、又は同様な機器である請求項1に記載の方法の使用。

【発明の詳細な説明】

物質の双晶構造の配向制御による運動及び力発生方法及びその使用

発明の技術分野

本発明は双晶構造を有する物質において、磁場により双晶構造の配向を制御する方法に関する。即ち、本発明は、本方法に基づくアクチュエーターを使用して形状変化及び運動及び力を生じさせることを目的とする。

発明の背景

運動及び力の制御は機械工学上の基本的な要素である。新物質の開発に伴い、アクチュエーター物質と称される特殊な機能性物質を使用して運動及び力を生じさせることが可能になった。現在入手可能で且つ最も重要なアクチュエーター物質は、圧電セラミックス、磁気ひずみ金属間化合物、及び形状記憶合金である。圧電セラミックスは、電界において歪みを生じる。これらの物質は高い周波数応答性を有するが、その歪み増幅特性が非常に小さいため、適用範囲が限られている。磁気ひずみ物質は磁界がかかった際に歪む。高い磁気歪み特性を有する金属間化合物（例えば、米国Etrema Products, Inc., Ames, IA製 Terfenol-D）には0.17%以上の歪み特性を有するものがある。この歪みの大きさは目下使用されている圧電素子のそれよりも大きい。この磁気歪み金属間化合物は圧電素子より低い周波数応答性を有する。

形状記憶合金は、ある一定の温度で塑性変形したものを合金変態

温度以上の温度にすると元の変形のない状態に戻ることができる物質である。これらの物質の結晶構造は、機械的な負荷や温度によりマルテンサイト相に変化あるいはマルテンサイト相から変化する。機械的に変形させた形状記憶物質が加熱後元の形状を回復する作用は一方向形状記憶効果と称される。その物質を引き続いて冷却しても形状変化が回復することはないであろう。このような一方向形状記憶効果は機器の固定、締め付け及びプレストレス（圧縮応力の付与）に利用される。数パーセントの歪みは完全に回復可能であり、900MPa以上の復元応力も達成されている。二方向形状記憶効果の場合には変形は要しない。即ち、物質は合金変態温度迄加熱又は冷却することにより得られる二つの変態を記憶してい

る。この二つの変態の間の温度差は1-2度K程度に小さくできる。二方向形状記憶効果を有する物質は、アクチュエーターにおいて、力及び変位を発生させる目的で利用される。これらのアクチュエーターは機械工学、ロボット工学、及び生物医学工学に適用される。最も広範囲に使用されている形状記憶物質は、Ni-Ti合金及び銅系合金である。この形状記憶アクチュエーターは、特に冷却時の温度制御に対しての応答性が低いことと、多くの合金にみられるように1パーセント程度の低いエネルギー転換効果しか得られないという欠点を有する。

そのような形状記憶物質は、形状効果が得られるように下部双晶構造を持たなければならない。この形状記憶物質は、外部応力のかかる領域において双晶構造が再配向することにより形状変化する。図1はこの双晶構造の再配向を2次元的に説明するための図である。図1(a)は、外部応力のない状態での均等な2つの結晶組織の異なる変態相1、2を示している。応力がかかった場合、図1(b)

に示すように、双晶境界が移動し、変態相2は変態相1に代わって成長し、加えられた応力にうまく適合するように形を変える。このようにして、結晶粒界が移動する結果、1つの変態相はもう一方の変態相に転換する。この場合、加えられた応力に最も都合よく配向する変態相が成長する。結局、図1(c)に示すように、充分応力がかけられた状態では、マルテンサイトのただ1つの変態相だけが形成される。このマルテンサイト相においては、変態相は通常幾つかの結晶学的方向に配向する。従って、双晶構造の再配向により物質は複雑に形状変化し、形状の完全な回復が得られることになる。結晶学的な分析によれば、マルテンサイト領域同士の境界は双晶境界と同様に振る舞う、即ち、マルテンサイト自身隣の領域に関して対の関係にある。このように、“双晶境界”(“twin boundaries”)という用語は、マルテンサイト領域内の境界同士の境界と同様にマルテンサイト領域同士の境界にも適用される(この定義は後述する磁性制御された双晶境界にも関係する)。物質のなかには応力がかけられた際、その双晶下部組織がその応力に対応して優先的に配向するマルテンサイト相を形成するものがある。

適切な物質においては、双晶構造を再配向することにより、数パーセントの回

復可能歪みに対応できればよい（例えば、Ni-Ti形状記憶合金では10パーセントに近い値）。また、合金のなかには、双晶構造の再配向に必要な応力が非常に小さなものもある。図2は、選択した形状記憶物質の応力と歪みの関係を表す曲線を示している。これら殆どの合金において、4パーセントの歪みは20～50 MPaの応力により達成される。また、1～30 MPa程度の低い応力で1パーセントの歪みが生じる。2つの双晶変態相の再配向により1パ

ーセントの歪みを生じさせるために必要な歪みエネルギーは、図2の応力-歪み曲線、歪み軸、及び点線の垂直線により囲まれた領域により表される。In-Ti合金、Ni-Mn-Ga合金（強磁性Ni, MnGa）、CuZn-Sn合金、及びCu-Zn合金の歪みエネルギーはそれぞれ、 10^4 、 8.5×10^4 、 1.1×10^5 、及び 2.3×10^5 J/m³である。

次に、本発明において重要な役割を担っている磁気異方性エネルギーに関して説明する。強磁性結晶体において、磁気結晶的異方性エネルギーは“磁化容易方向”と称されるある一定方向の結晶軸に沿って磁化するためのエネルギーである。図3は、六方晶系の結晶構造を有する単結晶コバルトの磁化曲線を示している。その磁化容易方向は、単位セルの軸に平行方向である。図3に示すように、この平行軸方向においては、低い磁場で飽和状態に到達する。基底方向における飽和は非常に困難であり、飽和するためには、8000 Oe以上の磁場を必要とする。この基底方向は、“磁化困難方向”と言われる。それらの異なった方向における磁化プロセスに対応する磁気異方性エネルギー密度はそれらの異なる方向の磁化曲線に囲まれた領域で示される。コバルトでは、磁化困難方向を飽和するためのエネルギー密度は約 5×10^5 J/m³（図3の2つの飽和曲線に囲まれた領域）である。難磁化性の鉄系及びコバルト系合金の異方性エネルギー密度は 10^5 から 10^7 J/m³の範囲にある。 10^8 J/m³に近い最も高い異方性エネルギー密度（K1値）が低温時の4fメタルにおいて見られる。金属間化合物、例えばCo₅Nd、Fe₁₄Nd₂B及びSm₂Co₁₇の室温における異方性エネルギー密度は、それぞれ 1.5×10^7 J/m³、 5×10^7 J/m³、及び3.

$2 \times 10^5 \text{ J/m}^3$ である。

発明の要旨

本発明は運動及び力を発生する磁気駆動アクチュエーターの動作原理に関する。この動作はそのアクチュエーター物質の双晶構造を磁場により制御する場合の再配向に基づくものである。これらのアクチュエーター類は、数パーセントの歪み（形状記憶物質が発生するものと同じ大きさ）を発生させる。この新規なアクチュエーターは磁性制御であるため、形状記憶合金に比較して応答速度は非常に速く、より正確な制御性及び効率を備えたものとなる。この新たな磁気駆動アクチュエーターは、機械工学において大きな可能性を発揮することになる。即ち、この磁気駆動アクチュエーターは、種々の分野の水圧、空圧、及び電磁駆動方式に代えて使用されることになる。本発明のアクチュエーターを採用すれば、従来のものを使用するのに比較して、簡単、軽量、且つより信頼性のある構成にすることができる。双晶構造の再配向は3次元で生じるため、磁力を制御することにより複雑な形状変化を生じる。このアクチュエーターの力を遠隔的に制御し、供給することが可能であるため、本発明の適用範囲は拡大する。この動作制御され所望の形状変化（例えば、曲げ、ねじれ、挟む、締め付け、流体移送）を行う完全な機構は、小さく且つ適切な形状を有し、前もって配向された一個の物質であってもよい。多くの物質において小さなツインサイズにできるため、本発明はマイクロ及びナノテクノロジーにおいても非常に可能性の高い技術として期待される。

図面の簡単な説明

図1(a)～図1(c)は、前述のマルテンサイト物質における形状変化、即ち、応力による双晶構造の回転を示す概略図（2次元）である。

図2は、双晶構造の再配向時における、単結晶合金であるIn-Ti、Cu-Zn-Sn、及びNi-Mn-Ga Heusler合金 (Ni_2MnGa) 及び多結晶のCu-Znからなる形状記憶合金の応力-歪み（引張歪み）曲線を示す図である。

図3は、単結晶コバルトの磁化曲線を示す図である。

図4は、本発明の原理、即ち外部磁場による双晶構造の回転を示す図である。

図 4 (a) は、外部磁場のない初期の状態を示す図である。図 4 (b) は、磁場 H がかけられた場合の双晶構造の回転を示す図である。

図 5 (a) ～図 5 (c) は、磁場により引き起こされた双晶物質の形状変化を示すものであり、この結果として所謂物質の形状を変化させアクチュエーターの運動及び力をもたらす状態を示す図である。図 5 (a) は、外部磁場のない初期の状態を示す図である。図 5 (b) は、物質に外部磁場 H_1 を作用させる工程を示す図である。図 5 (c) は、磁場により双晶構造が完全に再配向した最終的な状態を示す図である。

図 6 は、磁場による双晶構造の再配向を検討するための実験設備を示す図である。

発明の詳細な説明

本発明は、外部磁場の作用下における双晶構造の再配向に基づいて、物質に形状変化及び運動及び／又は力をもたらすための新規な

方法である。

以下、本発明の理解を容易にするための背景を説明する幾つかの図面を参照し、本発明の特徴を説明する。参照する図面は図 2 ～図 6 である。

図 4 は、磁場がかけられた場合の双晶構造の再配向の原理を説明するための 2 次元図である。強磁性結晶物質においては、外部磁場が存在しない場合、磁化ベクトルは磁化容易方向を向いている。この状態を 2 つの変態相のための図 4 (a) に示す。磁化容易方向は各々の変態相の単位セルの側面に平行である。なお、この磁化容易方向は必ずしも単位セルの側面に平行である必要はなく、その物質の特性的なその他の何れの結晶学的な方向であってもよい。強磁性結晶物質に外部磁場がかかった場合、磁化ベクトルは前述の単位セルの容易な方向から外部磁場の磁化方向に回転する傾向がある。この説明において U_k で示す磁気結晶的異方性エネルギーが高ければ、磁化容易方向からの回転に必要な磁場の強さもまた高くなる。これは、図 3 の六方晶系のコバルトにおいて説明されたところである。2 つの変態相を回転するエネルギー（例えば、双晶境界の移動に要するエネルギー）が磁気結晶的異方性エネルギー U_k に比較して十分低い場合には、2 つの

変態相は外部磁場により回転され、回転した単位セルの元の磁化容易方向にそのまま磁化が残留する。図4 (b) は、1つの変態相の単位セルが外部磁場により他の変態相に回転される様子を示す。結果的に、図5に示すように、磁場に適合して配向している変態相がもう一方の変態相に代わって拡大成長する。

図5 (a) は、2つの変態相が均等に存在する場合の外部磁場の

ない初期の状態を示す図である。各々の変態相の単位セルの1方向に磁化方向が調整されている。この図においては、磁化ベクトルの一部のみ記載している。この説明においては、双晶はただ一つの強磁性領域からなるものと仮定している。

(最近のTEMの研究によれば、幾つかの強磁性マルテンサイト、例えばFe-Ptにおける双晶は、磁壁が双晶に交差する二つの磁性領域から構成することができることを開示している)。

図5 (b) は、その磁化容易方向が外部磁場の磁化方向と異なる単位セルが如何にして外部磁場方向に沿って回転されるかを示している。結果的に前記適合する方向に配向した変態相は成長し、もう一方の変態相は減少し、最終的に図5 (c) に示すように双晶の一方の変態相だけが残ることになる。

前述の双晶構造の再配向の結果、物質の形状が変化し、この物質から形成され磁性的に制御されたアクチュエーターにおいて、運動及び力を発生させる。また、双晶構造の再配向は3次元方向に生じるため、複雑な形状変化も可能である。このアクチュエーター物質の初期磁化方向は、磁場を取り除くことにより又は磁場の方向を別の方向に回転することにより回復される。マルテンサイト単位セルの配向に対する外部磁場の効果により、マルテンサイトーマルテンサイト及びオーステナイトーマルテンサイト境界面の一定方向の運動が生じ、この動作もまたアクチュエーターにおいて利用される。この場合、優先的に配向された双晶マルテンサイトは対の相に代わって成長する。また、この成長は可逆である。

2つの変態相の再配向のための磁場制御により、好適な物質においては数パーセントの回復可能歪みが発生することが期待される (

形状記憶合金において応力により引き起こされる回復可能歪みに類似する)。あ

る一定の歪みを磁氣的に発生させるためには、物質の磁気結晶的異方性エネルギー U_k 2つの変態相を配向させてこの歪みを発生させるために必要なエネルギーより大きいか又はそれに匹敵する程度の大きさが必要である。後者のエネルギー、即ち双晶構造の再配向のためのエネルギーと定義され且つ E_{tw} で示されるこのエネルギーには、物質の形状変化に関係した歪み及び消失エネルギー関係も含まれる。用途がアクチュエーターである場合、 U_k は E_{tw} にアクチュエーターの作動に必要なエネルギーを加えたものより大きいことが必要である。その作動に必要なエネルギーは正又は負のどちらでもよい。そのエネルギーが負であれば、外部応力は双晶構造の再配向を助け、必要な磁場エネルギーを減少させる。アクチュエーターが作動するためには、アクチュエーターを制御する磁場エネルギーが E_{tw} にアクチュエーターの作動に必要なエネルギーを加えたものより大きいことが必要である。 U_k が大きくなればなるほどアクチュエーターの機械的な動作に変換される磁場エネルギーは大きくなり、より大きな力を得ることができる。

次に、種々の物質において、異方性エネルギーの大きさと再配向エネルギー E_{tw} とを比較してみる。図2に示されるように、抜粋したマルテンサイト系形状記憶合金において1パーセントの歪み発生させるためのエネルギー密度 E_{tw} は $10^4 \sim 2.3 \times 10^5 \text{ J/m}^3$ の範囲にある。一方、 $10^5 \sim 10^8 \text{ J/m}^3$ の磁気異方性エネルギーを有する入手可能な物質は数多くある。幾つかの例(Co系、Fe系、及び希土類系合金)については既に述べている。物質の中には、例えばIn-Tiの双晶構造の再配向に必要なエネルギー密度 E_{tw} より4

オーダーも大きな異方性エネルギー密度を有するものさえある。このエネルギー U_k と E_{tw} との間の大きな差は、高い異方性エネルギーと低い E_{tw} を共に有する最適な物質を見出す可能性が大きいことを示している。

強磁性マルテンサイトの中には、応力がかけられた場合、容易に双晶境界が移動するものがある。図2には、強磁性マルテンサイトの Ni_2MnGa (単結晶)の場合、方向 $[100]$ に $10 \sim 20 \text{ MPa}$ 程度の低い応力がかけられただけで2つの変態相が再配向して、4パーセントの回復可能歪みを生じることが示されている。この合金において、磁場により引き起こされる双晶構造の再配向により1パー

セントの歪みを生じさせるためには、異方性エネルギーは、2つの変態相の再配向エネルギー E_{tw} (図2からみると、 $8.5 \times 10^4 \text{ J/m}^3$) より大きくなければならないが、この値は極めて低い。従って、この物質においては、磁場により引き起こされる前述の歪みは達成されるものと期待される。今日までに得られた最も多くの強磁性形状記憶合金及び下部双晶構造を有する他の鉄系合金において、双晶を整合するための応力は100MPaより更に大きい。しかしながら、それらの物質の磁気結晶的異方性エネルギーは、双晶構造の再配向に基づく磁場誘起歪みを発生させる上で十分大きい場合が多く、このことは幾つかの合金において実験的に実証されている。例えば、双晶構造を再配向し、1パーセントの歪みを発生させるために100MPaの応力が必要な物質では、 E_{tw} の計算値は $5 \times 10^5 \text{ J/m}^3$ である (応力は歪みに対して直線的に増加するものと仮定している)。磁場誘起による双晶構造の再配向により同じ歪みを発生させるためには、 $5 \times 10^5 \text{ J/m}^3$ より大きい又はそれと同等の

異方性エネルギーが必要となる。この異方性エネルギーの値は、コバルトと同じであり、多くの鉄系及びコバルト系合金において達成可能である。

第3の例として、幾つかの物質に見られるように、双晶構造の再配向により1パーセントの歪みを発生させるために500MPaという高い応力が求められる場合を仮定して検討する。磁場によりその高い応力を発生させるためには、 $2.5 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ の異方性エネルギー密度が必要となる。適当な合金を使用した場合には、室温における最大の異方性エネルギーは20倍大きいので、この異方性エネルギーは達成可能である。なお、低 E_{tw} の双晶物質の異方性エネルギーの値は飽和磁気分析法により計測出来ないので、この報告では幾つかの物質から得られる推定値を使用して磁気結晶的異方性エネルギーを評価した (図3参照)。

この理由は、磁場において磁化方向が単位セルの磁化困難方向に回転することなく、低レベルの磁場において2つの変態相 (磁化ベクトルと共に) の回転により飽和してしまうからである。磁化の計測は単一の変態相の試料に対して行われるべきであるが、この単一変態相を形成することができない場合が多い。

現在、高い異方性エネルギーと低 E_{tw} の新規な強磁性物質を発見することが開

発の焦点となっている。最適な物質としては、希土類金属の高い異方性エネルギーと高い移動性を有する適切な双晶相の双晶境界とを併せ持つものがよい。また、マルテンサイト格子が六方晶形又は球状に緊密に充填されているコバルト系及び鉄系形状記憶合金が有望であり、開発が行われている。この場合、格子間原子、特に窒素原子の役割は非常に重要である。即ち、これらの格子間原

子は異方性エネルギーを増加させたり、合金の機械的強度を高める場合が多く、これにより変形機構として双晶構造を形成する上で有利になり、永久スリップも防ぐことが出来る。磁性制御されたアクチュエーター物質で興味ある1つのグループとしてマンガンにより強磁性が付与されたHeusler合金（例えば、 Ni_2MnGa 系）が挙げられる。

多くの物質において、双晶境界は音速程度の非常に速い速度で移動する。これは、好適なアクチュエーター物質においては磁場誘起転回速度が極めて速いことを意味しており、アクチュエーターは高い周波数で作動することができる。

実施例

磁場による双晶構造の再配向について、 Fe-Ni-Co-Ti 、 Fe-Ni-C 、及び Fe-Mn-N 系合金において実験的に検討した。これらの物質は強磁性であり且つ双晶微細構造を有する。それらの異方性エネルギーについて測定した結果を概略すると、 Fe-Ni-Co-Ti 系合金では、約 $5 \times 10^5 \text{ J/m}^3$ 、 Fe-Ni-C 系合金では、ほぼ $2 \times 10^5 \text{ J/m}^3$ であった。これらの値は、双晶構造の再配向に基づく磁場誘起歪みを発生させる上で十分なものと考えられる。この研究に使用された実験的な設備及び測定例について以下に説明する。

実験設備

双晶構造に対する応力及び磁場の影響を検討するための基本装置構成を図6に示す。この装置では、試料に対して軸方向応力及びねじり応力がかけられると共に対応する歪みを測定できる。試料6は2本の同軸の支持管1、2の内側に固定されている。管1は固定され、管2は試料を歪ませる目的で使用される。試料室は試料に磁場

を与えるためのコイル7により囲まれている。磁場を変化させ、低周波数における磁性誘起歪みの周波数応答の計測を行った。高周波数においては、試料上に接触させた歪み計を使用して周波数応答の計測を行った。これらの計測において、バー2は外された。この装置は折り曲げ試料に対する実験においても使用された。その折り曲げ試料の両側に歪み計を配置し、磁場を与えることにより生じる歪みの変化を静的に又磁場を変化させながら計測した。

図6に示すように、電気抵抗及び磁化率を計測するための装置を試料ホルダー上に行った、即ち、抵抗を測定するための4点接触子3及び磁化率を測定するためのコイル5を装備した。試料室を液体窒素又は液体ヘリウム中に浸し、ヒーター4を使用して温度を4～600 Kに制御した。

双晶境界の運動に起因する消失（磁化消失）及びマルテンサイト境界面の研究もこの装置により行った。マルテンサイトの量は、電気抵抗及び磁化率の計測法を用いて検出した。また、メスバウアー分光法を用いてマルテンサイトの相分を求めた。X線分光法に比較してメスバウアー分光法は試料の生地には敏感ではないため、本研究に適した方法である。

実施例1

試料に対して交番のねじれ変形応力を与え、振動減衰能を計測した。この実験の結果、双晶境界（同じく、オーステナイトと双晶マルテンサイトとの境界面）は非常に高い移動性を有していた。測定は歪み振幅 $10^{-5} \sim 10^{-3}$ の範囲で行われた。

実施例2

折り曲げ試料の磁性誘起歪みを測定した。最初に、マルテンサイ

ト試料を機械的に折り曲げた。この変形に際して試料の一方の面を伸ばし、他方の面を縮めた。この結果、試料のそれぞれの面の双晶構造は各々それらの圧縮及び引っ張り応力に適合するように異なる方向に配向し、それぞれの面における2つの変態相の割合は異なるものとなった。試料の両面のマルテンサイト量は同一であることを確認した。この折り曲げた試料に磁場をかけると、磁性誘起歪みが生じた。この磁性歪みは、試料の両面において互いに反対方向に生じた。最初に

機械的応力により伸ばされた面は磁場により縮められ、他方の面は磁場により伸ばされた。例えば、厚さ1 mmの僅かに折り曲げれた双晶マルテンサイトFe-Ni-C試料に1 kOeの磁場をかけたところ、その試料の両面の歪みの差は 2.2×10^{-5} であった。この値は、この物質の磁気歪みよりも大きい。この磁気歪みは、試料の両面に異なる方向の歪みを発生させることはできない上非常に小さいため、上記現象を磁気歪みにより説明することはできない。

また、最初の機械的変形をねじれにより生じさせた。このねじれ変形により双晶構造の特異的な再配向が生じた。この構造に磁場をかけると、ねじれ歪みが生じた。

これらの折り曲げ及びねじれ試料において観察される磁性誘起歪みは、双晶構造の再配向又は優先的に配向されたマルテンサイトの成長に起因する。ところで、本実験はマルテンサイトの変態温度 M_d よりも高い温度で実施された。この変態温度 M_d 以上の温度においては、マルテンサイトの形成は熱力学的に不可能であり、この観察された歪みが磁性誘起された双晶構造の再配向によるものであることは明らかである。

この折り曲げ及びねじれによる実験から、外部磁場を利用してよ

り複雑な形状変化を生じさせ得ることが分かる。

実施例3

試料の表面に垂直及び平行方向の磁場におけるマルテンサイトのX線回折パターンを測定した。単独のブラッグピークの強度は回折状態における2つの変態相分と相関する。計測の結果、磁性的に誘起されたマルテンサイトの双晶の再配向に起因するピーク強度の変化が認められた。マルテンサイト領域の内部部分だけが双晶構造を形成する合金においてもピーク強度の変化が見られた。そのマルテンサイト領域の外側部分は転位セル及び非結晶性(tangle)のものから構成されている。従って、これらの合金においては、マルテンサイト相とオーステナイト相との界面は非移動性であり、優先的に配向された2つの変態相を含むマルテンサイト領域の磁場制御による成長では前述の観察された現象の説明に役立たない。

産業上の利用可能性

本発明に基づく新規なアクチュエーターは、技術上又商業上大きな可能性を持つものである。物質の性質に基づいて運動及び力を発生させる他の物質で本発明のように大きな歪み、力、速度、及び正確さを合わせて発揮できるものはない。本発明が適用できる用途機器としては、燃料噴射器類、高圧ポンプ類、能動振動制御のためのアクチュエーター類、能動ばね類、バルブリフターやバルブ制御機類、ロボット類、精密工具類、及びリニヤモーターがある。アクチュエーターはまた感知機能と制御機能とを共有できる。適応、能動、又は高性能構造といわれるこれらのシステムは現代の機械設計上一般化しつつある。機械の運転パラメーターをリアルタイムで感知し、環境及び内部変化に的確に対応することにより、より適した運転、

低いエネルギー消費、構造寿命の延長、及び低い維持コストを達成できる。適応構造は航空機、自動車、船舶、及び土木技術、精密機械加工及び生産技術に応用される。最も広範囲に利用されているアクチュエーターは、空圧及び水圧システム、電磁駆動装置、圧電素子、磁気歪み金属間化合物、及び形状記憶合金等のアクチュエーター物質である。高速で大きなストロークのアクチュエーターが存在しないために適応構造の進歩が非常に阻害されている。本発明に基づく新規な物質は、適応構造の技術及び近代工学上に大きな進歩をもたらすものである。

双晶構造の再配向は3次元で生じるため、引っ張り、曲げ、及びねじり等の試料の複雑な形状変化が磁場により引き起こされる。これにより、多くの工学及び機械分野における本発明の用途は格段に広がる。磁性歪みに基づく他の磁性駆動アクチュエーターはそのような特性を有しない。制御された運動又は一定の形状変化を磁場により発生させるアクチュエーター／機械が、適切に成形され、予め配向された1つの物質であってもよい。形状及び初期双晶構造を適切に設計することにより、磁場の強度を周期的に変え、アクチュエーターは複雑な形状変化を繰り返す。アクチュエーターの運動軌跡は磁場の方向を変えることにより変化する。

本発明の方法によれば、アクチュエーターの操作を遠隔的に制御出来る。この遠隔制御は、例えば医療機器及び心臓等の人工器官等生物医学上の応用機器に適し

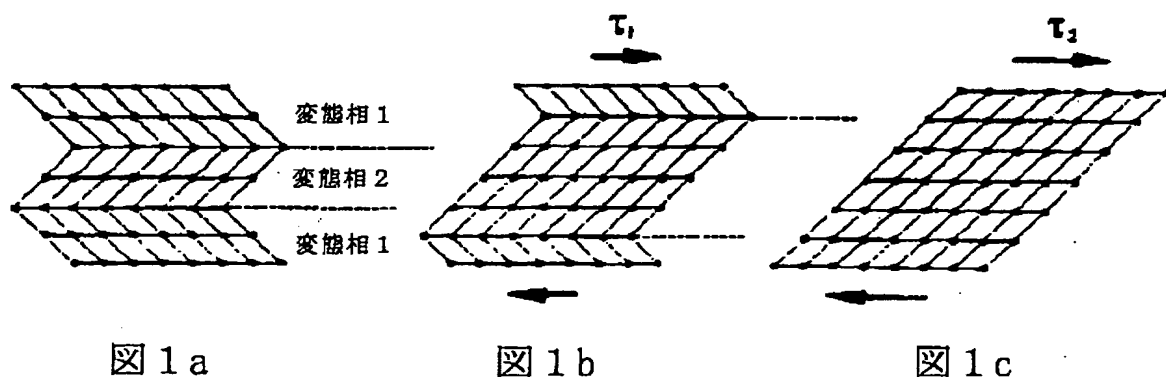
ている。共通の磁場制御により多数のアクチュエーターを同時に運転させることも考えられる。また、磁場がすべてのアクチュエーターに同一であっても、物質中に作られた初期双晶構造によりそれぞれ別の方式で操作されるように構成する

ことも出来る。

双晶構造は、また薄膜類、線類、及び粒子類において制御することも期待できるため、本発明に基づくアクチュエーターは更にマイクロ及びナノテクノロジーへの用途も考えられる。このアクチュエーターは、単独の双晶だけのサイズまでも可能である。この超微細アクチュエーターに、例えば位置感知用量子トンネル電流を利用することも考えられる。

本発明は、電気エネルギーを使用して運動、力、及び形状変化を発生させる新規な方法である。この方法に基づくアクチュエーターは、電磁力に基づくモーターや他の機器後の最も広範囲に使用される電気駆動装置としての可能性を有する。幾つかの技術分野においては、この新たなアクチュエーターはその良好な性能、高い信頼性、及び低いコスト故に従来の電気機器に代わって使用されることも期待される。しかし、最大の可能性は、本発明に基づく技術だけが可能である新しい用途にある。

【図1】



【図2】

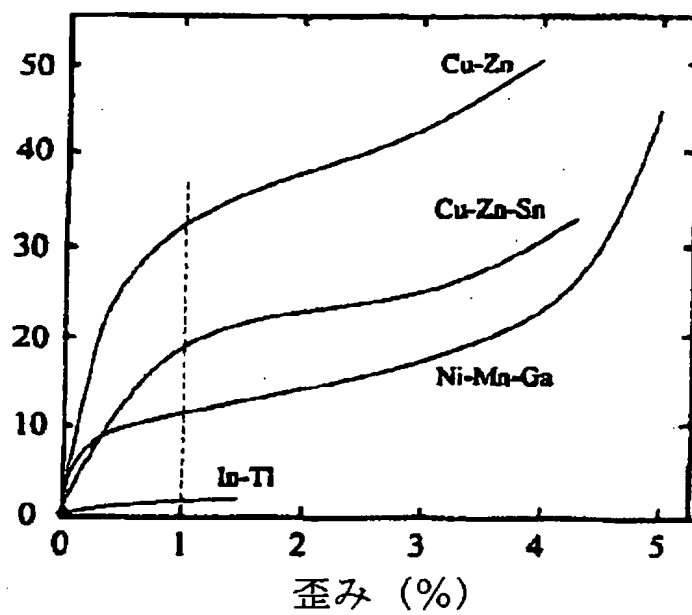


図2

【図3】

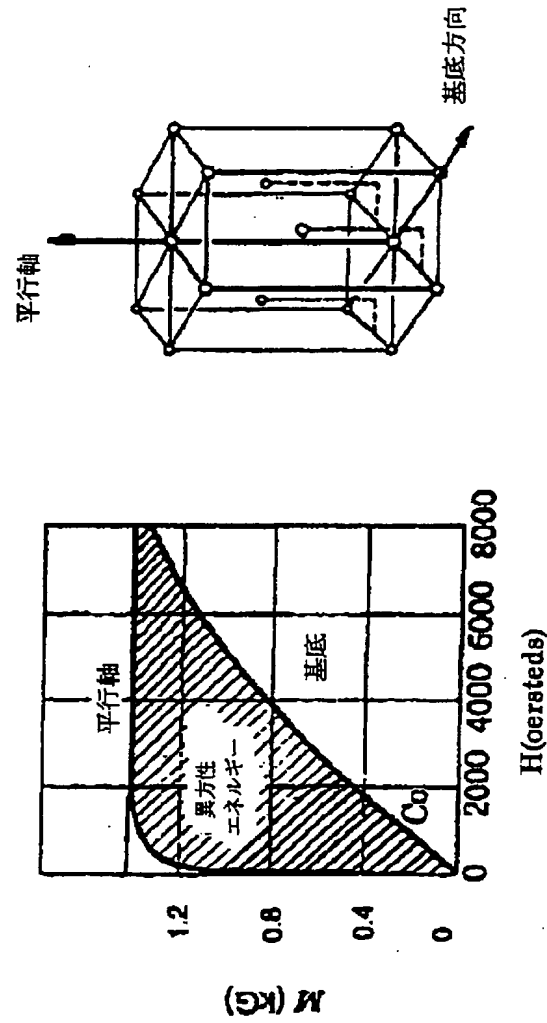
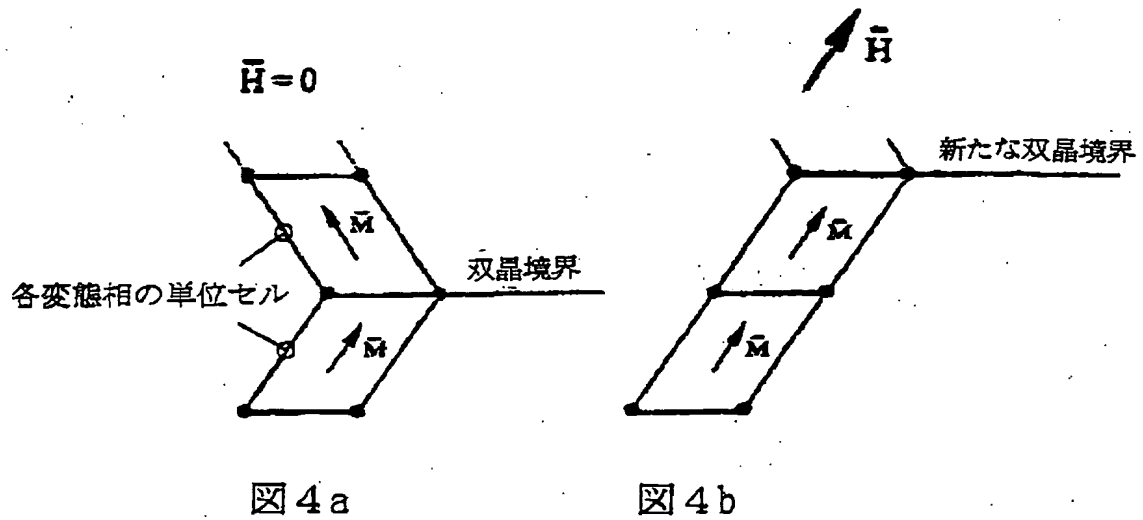
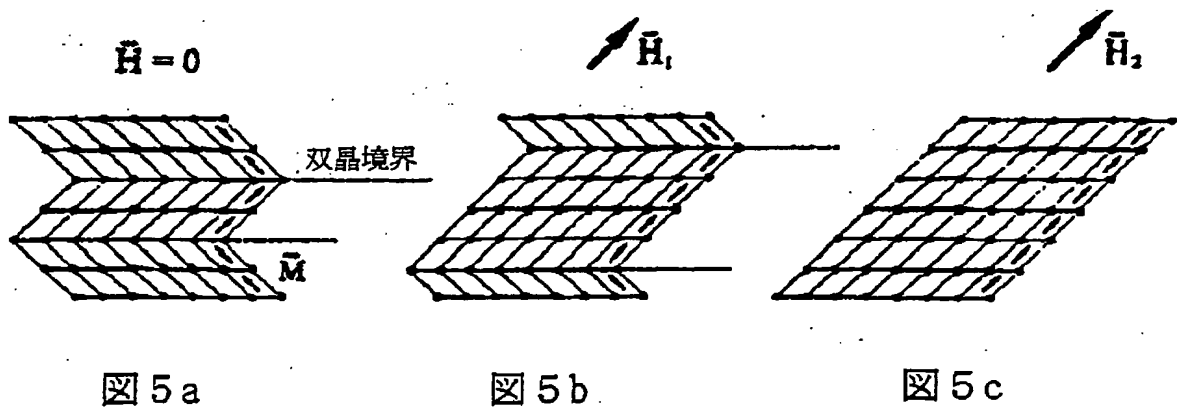


図3

【図4】



【图 5】



【图 6】

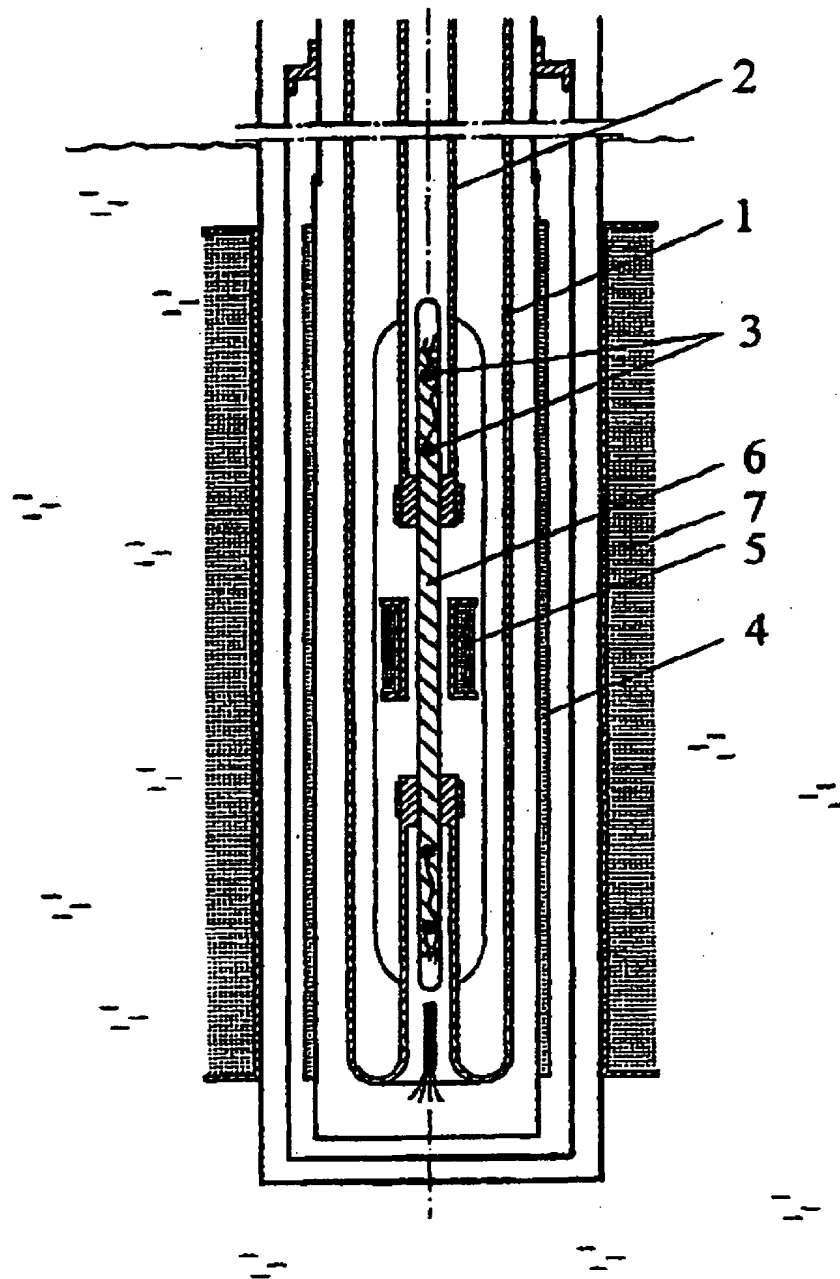


图 6

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/FI 96/00410	
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 H01L41/00	
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC	
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 H01L	
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched	
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)	
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT	
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages Relevant to claim No.
X	DATABASE WPI Section Ch, Week 9146 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class L03, AN 91-337460 XP002018991 & SU 1 611 980 A (AS UKR METAL-PHYS) , 7 December 1990 see abstract
X	--- SCRIPTA METALLURGICA, AUG. 1985, USA, vol. 19, no. 8, ISSN 0036-9748, pages 973-976, XP000609308 KAKESHITA T ET AL: "Magneoelastic martensitic transformation in an ausaged Fe-Ni-Co-Ti alloy" see the whole document --- -/--
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.	
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel, or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "a" document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search 20 November 1996	Date of mailing of the international search report 29. 11. 96
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5211 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 631 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016	Authorized officer Pelsters, L

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FI 96/00410

C (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X,P	JOURNAL OF MATERIALS ENGINEERING AND PERFORMANCE, vol. 5, no. 3, 1 June 1996, pages 405-409, XP000593943 ULLAKKO K: "MAGNETICALLY CONTROLLED SHAPE MEMORY ALLOYS: A NEW CLASS OF ACTUATOR MATERIALS" see the whole document -----	1

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AP(KE, LS, MW, SD, SZ, UG), UA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), AL, AM, AT, AU, AZ, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, HU, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN